

# TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

## Fakulta strojní

Studijní program B2341 - Strojírenství

Materiály a technologie

Zaměření tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie

Oddělení tváření kovů a plastů

### **Vliv doby kondicionace na vlastnosti výstřiků z materiálu PC/ASA Influence time kondicionace on characteristics ejaculations from material PC/ASA**

Jan Vlk

**KSP - TP - B48**

|                              |                            |                |
|------------------------------|----------------------------|----------------|
| Vedoucí bakalářské práce:    | Ing. Luboš Běhálek         | - TU v Liberci |
| Konzultant bakalářské práce: | doc. Dr. Ing. Petr Lenfeld | - TU v Liberci |
|                              | Ing. Jiří Bobek            | - TU v Liberci |

#### **Rozsah práce a příloh:**

**Počet stran: 44**

**Počet tabulek: 7**

**Počet obrázků: 40**

**Datum: 23.5.2008**

**ANOTACE**  
**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**  
**Fakulta strojní**  
**Katedra strojírenské technologie**  
**Oddělení tváření kovů a plastů**

Studijní program: B2341 - Strojírenství  
Diplomant: Jan Vlk  
Téma práce: Vliv doby kondicionace na vlastnosti výstřiků z materiálu PC/ASA  
Influence time kondicionace on characteristics ejaculations from material PC/ASA

Číslo BP: KSP – TP – B48  
Vedoucí BP: Ing. Luboš Běhálek - TU v Liberci  
Konzultant BP: doc. Dr. Ing. Petr Lenfeld - TU v Liberci  
Ing. Jiří Bobek - TU v Liberci

**Abstrakt:**

Bakalářská práce se zabývá analýzou mechanických vlastností polymerní směsi PC/ASA Geloy FXW751SK v závislosti na době kondicionace při standardním prostředí. V teoretické části bakalářské práce je rešeršně shrnuta podstata navlhavosti, příčiny a důsledky, včetně možností sušení plastů.

**Abstract:**

Baccalaureate work deal with analysis mechanical feature polymeric mixtures PC/ASA Geloy FXW751SK depending on time kondicionace at standard environment. In theoretic parts baccalaureate work is background research lumped essence wettability, causes and incidence, inclusive possibility cure plastics.

**Místopřísežné prohlášení:**

Místopřísežně prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 23. května 2008

.....  
Jan Vlk

Doubrava 231

Loukov 294 11

**Poděkování:**

Touto cestou bych chtěl především poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Luboši Běhálkovi za cenné informace, rady, ochotu a čas, který mi věnoval při psaní této práce.



## **OBSAH :**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 ÚVOD</b>                                  | <b>8</b>  |
| <b>2 TEORETICKÁ ČÁST</b>                       |           |
| <b>2.1 Navlhavost</b>                          | <b>9</b>  |
| 2.1.1 Důsledky navlhavosti u plastů            | 12        |
| 2.1.2 Vliv relativní vlhkosti vzduchu          | 13        |
| 2.1.3 Stanovení obsahu vlhkosti                | 14        |
| <b>2.2 Sušení</b>                              | <b>17</b> |
| 2.2.1 Rychlost sušení granulátu                | 17        |
| 2.2.2 Možnosti sušení plastů                   | 18        |
| <b>3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST</b>                   |           |
| <b>3.1 Příprava vzorků</b>                     | <b>23</b> |
| <b>3.2 Měření mechanických vlastností</b>      | <b>26</b> |
| 3.2.1 Měření tahových vlastností               | 26        |
| 3.2.2 Měření ohybových vlastností              | 28        |
| 3.2.3 Měření vrubové houževnatosti Charpy      | 30        |
| 3.2.4 Měření tvrdosti Shore D                  | 32        |
| <b>4 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ A JEJICH DISKUSE</b> |           |
| <b>4.1 Tahové vlastnosti</b>                   | <b>35</b> |
| <b>4.2 Ohybové vlastnosti</b>                  | <b>37</b> |
| <b>4.3 Vrubová houževnatost</b>                | <b>39</b> |
| <b>4.4 Tvrdost</b>                             | <b>40</b> |
| <b>5 ZÁVĚR</b>                                 | <b>42</b> |
| <b>LITERATURA</b>                              | <b>43</b> |



## Seznam použitých zkratk a symbolů:

|                  |         |  |
|------------------|---------|--|
| $c$              | [kg/kg] | vyjádření vlhkosti v kilogramech vody na kilogram sušiny |
| $c_r$            | [kg/kg] | rovnovážná vlhkost                                       |
| $m$              | [kg]    | hmotnost   |
| $t$              | [s]     | čas  |
| $T$              | [°C]    | teplota  |
| $p_{\text{atm}}$ | [Pa]    | atmosférický tlak  |

|                      |   |
|----------------------|---|
| ABS                  | - terpolymer akrylonitril/butadién/styrén |
| PA                   | - polyamid                                |
| PET                  | - polyetylentereftalát                    |
| PC                   | - polykarbonát                            |
| PE                   | - polyetylen                              |
| PP                   | - polypropylén                            |
| PS                   | - polystyrén                              |
| PVC                  | - polyvinylchlorid                        |
| SAN                  | - kopolymer styrenakrylonitril            |
| PMMA                 | - polymethylmetakrylát                    |
| POM                  | - polyoxymetylen                          |
| PC                   | - polykarbonát                            |
| PA6                  | - polyamid 6                              |
| PA66                 | - polyamid 66                             |
| PPO                  | - polyfenilénoxid                         |
| PU                   | - polyuretan                              |
| ASA                  | - akrylonitril-styrén-akrylát             |
| PBT                  | - polybutylenterenftalát                  |
| $\text{CaH}_2$       | - hydrid vápenatý                         |
| $\text{H}_2\text{O}$ | - voda                                    |
| $\text{Ca(OH)}$      | - hydroxid vápenatý                       |
| $\text{H}_2$         | - vodík                                   |

## **1 ÚVOD**

Vlastnosti výrobků z polymerních materiálů jsou odrazem mnoha faktorů. Do značné míry jsou určeny chemickým složením plastu, jejich strukturou, podmínkami zpracování, ale i dalšími faktory, které vstupují do procesu během doby jejich aplikace. Rovněž přípravné operace před vlastním zpracováním se do značné míry podílí na konečných vlastnostech i kvalitě výrobků. Jedním z těchto procesů je sušení plastů. Některé technické plasty jsou vzhledem k jejich chemické struktuře navlhavé a nepřipustný obsah vlhkosti v materiálu má za následek při jeho zpracování vznik povrchových vad. Navíc s rostoucí mírou navlhavosti může docházet nejen ke změně užitných vlastností výrobků, ale také k snížení jejich tvarové a rozměrové přesnosti. Problematika navlhavosti plastů ve vztahu k výsledné kvalitě výrobku souvisí také s předmětem této bakalářské práce, která se zabývá hodnocením vlastností výstřiku z polymerní směsi PC/ASA v závislosti na době kondicionace při standardním prostředí 23/50 dle ČSN ISO 291.

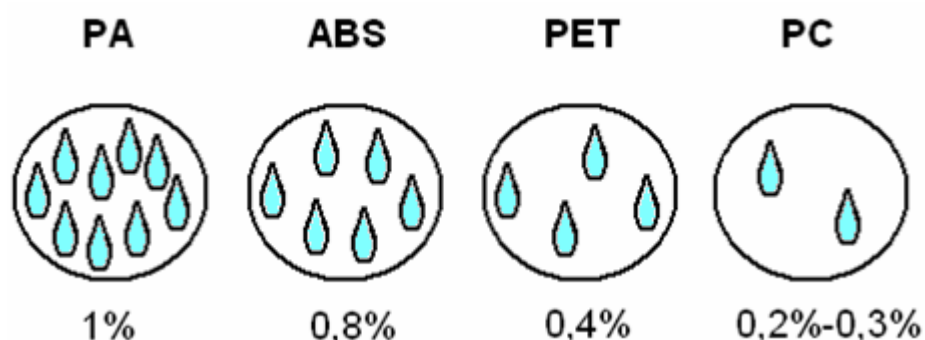
Bakalářská práce vznikla ve spolupráci s fy. Cadence Innovation k.s. Liberec a jejím cílem je analýza mechanických vlastností výstřiků z PC/ASA Geloy FXW751SK v závislosti na době kondicionace při standardním prostředí. Přestože materiál je zpracováván v sušeném stavu, je třeba mít na zřeteli, že proces sušení i navlhání je děj vratný. Zadání bakalářské práce vzniklo na základě podnětu firmy Cadence Innovation k.s., která zvažuje jeho aplikaci pro výrobu protinázového krytu na nárazníku technologií vstřikování a cílem je ověřit, zda v důsledku možného navlhání materiálu nedochází ke změně jeho vlastností. V experimentální části bakalářské práce jsou po konzultaci s technologickým oddělením fy. Cadence Innovation a v souladu se zadáním hodnoceny tahové vlastnosti dle ČSN EN ISO 527, ohybové vlastnosti dle ČSN EN ISO 178, rázové vlastnosti dle ČSN EN ISO 179 a tvrdost Shore dle ČSN EN ISO 868 v závislosti na době od výroby.

## **2 TEORETICKÁ ČÁST**

V teoretické části je s ohledem na zadání bakalářské práce řešena problematika navlhavosti a sušení plastů, která se zabývá příčinami navlhavosti plastů, včetně jejího vlivu na výslednou kvalitu plastových dílů a procesní podmínky jejich zpracování. Uvedeny jsou rovněž základní metody stanovení vlhkosti u plastů i způsoby sušení plastů.

### **2.1 NAVLHAVOST /1/, /2/**

Navlhavost je schopnost materiálu absorbovat vlhkost z ovzduší v podobě páry. Schopnost navlhovat je závislá jednak na druhu materiálu (viz obr. 2.1), kde může dojít k rozdílnému navlhnutí polymeru při identických podmínkách, tak i na čase. Absorbování vlhkosti se může postupně zpomalovat, popřípadě zastavit, jakmile vlhkost granulátu dosáhne rovnováhy s okolním vzduchem. Tyto materiály se nazývají **navlhavé** a jsou to většinou technické plasty jako např: polyamid, polykarbonát, polvinylchlorid a podobně. Příčinou navlhavosti plastů je především jejich chemické složení. Největší absorpce vody je zaznamenána u plastů s hydrofilními skupinami makromolekule podmiňující absorpci vody. Navlhavé plasty se podrobněji mohou dělit podle rovnovážné vlhkosti na málo navlhavé, středně nebo na silně navlhavé.

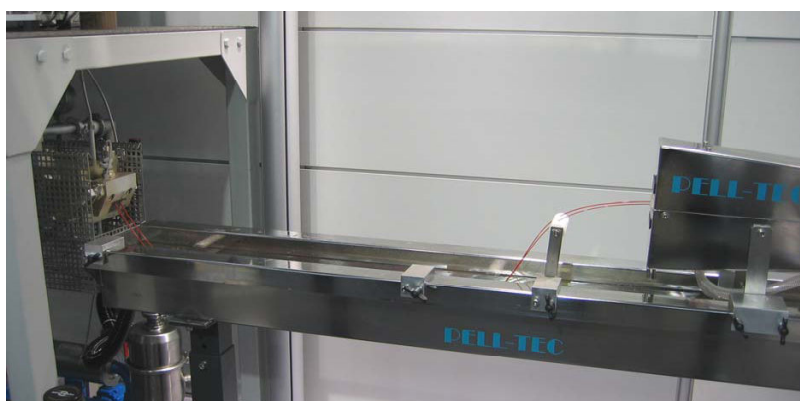
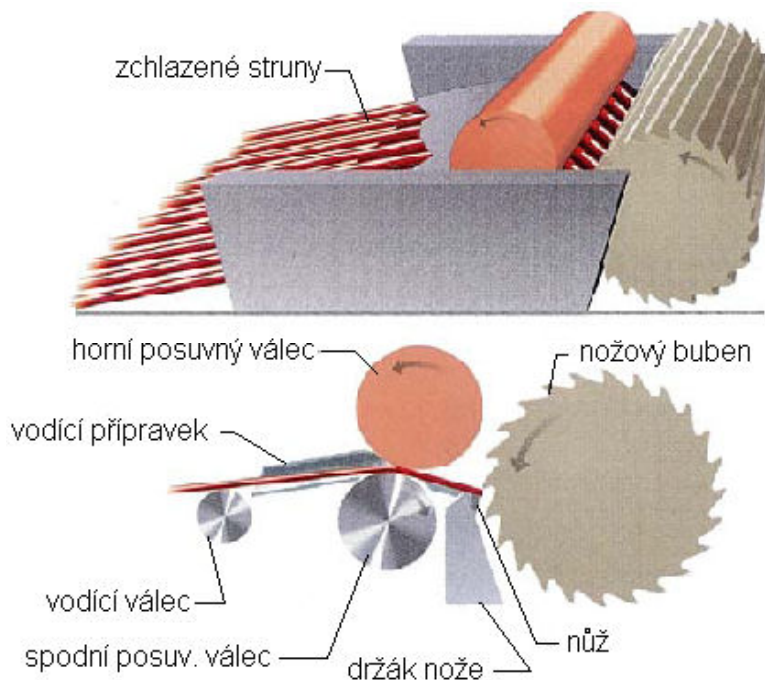


Obr. 2.1: Stupeň navlhnutí pro různé polymery za shodných podmínek /1/

Opakem navlhavých plastů jsou plasty **nenavlhavé**, např: polypropylén, polyetylén, polystyrén a podobně. Všeobecně tyto materiály nejsou schopny absorbovat vlhkost. Pokud ovšem dojde k nesprávné manipulaci, kdy je např. polymer převezen z chladného do



vyhřátého prostředí výroby, může dojít ke kondenzaci vlhkosti z teplého vzduchu na povrch polymeru. Rovněž organická plniva na bázi celulózy jsou příčinou zvyšující se navlhavosti u jinak nenavlhavých plastů. S ohledem na výše uvedené je řada technických plastů před svým zpracováním sušena. S technologickou operací sušením se musí počítat i tehdy, přišel-li materiál do styku s vodou v předchozí operaci, jakou je například granulace (viz obr. 2.2), kde vytlačované struny procházejí chladicí vodní lázní.

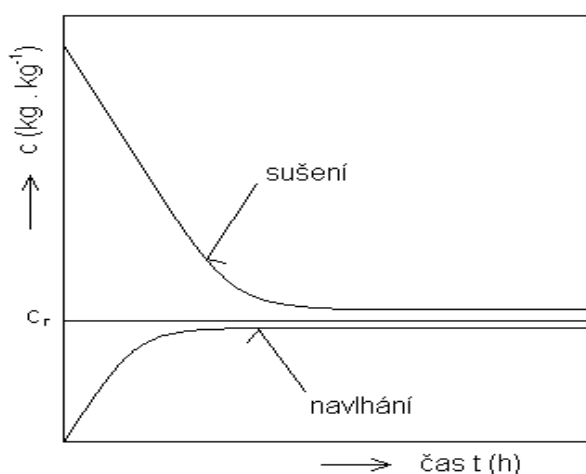
**a)****b)**

Obr. 2.2: Granulační linka „za studena“ /3/, /4/

a) vytlačování strun a jejich chlazení

b) odtah vytlačených strun a jejich sekání

Vlhkost se u plastů může shromažďovat na povrchu (povrchová vlhkost), nebo je vázána kapilárními silami v celém objemu (kapilární vlhkost). U **kapilární vlhkosti** je odpařování ztíženo a musí se zde použít vyšší teploty sušení, než je bod varu při  $p_{\text{tam}}$ . Voda u **povrchové vlhkosti** je vázána přilnavostí k povrchu k materiálu a její malé množství nemusí mít negativní vliv na technologický proces. Sušení materiálu probíhá tehdy, je-li tlak páry, který se ustaví těsně nad povrchem sušeného materiálu větší, než parciální tlak páry okolí a probíhá do okamžiku dosažení rovnovážné vlhkosti (viz obr. 2.3), tedy do okamžiku vyrovnaní tlaků páry.



Obr. 2.3: Průběh sušení a navlhání materiálu /5/

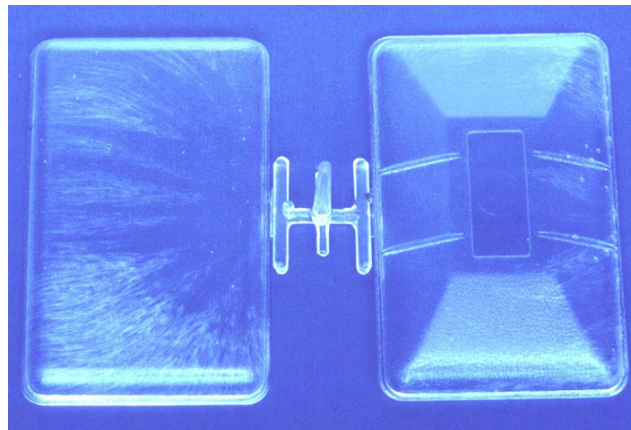
Obsah vlhkosti u plastů je závislý jak na jeho chemickém složení, tak na době vystavení atmosférickému vzduchu, vlhkosti prostředí (viz tab. 2.1) a teplotě prostředí.

Tab. 2.1: Hodnoty obsahu vlhkosti vzduchu v závislosti na ročním období /6/

| Vzduch         | Teplota vzduchu<br>/ °C / | Relativní vlhkost<br>vzduchu / % / | Obsah vlhkosti<br>vzduchu / g.m / |
|----------------|---------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| vlhký letní    | 25                        | 80                                 | 19,0                              |
| normální letní | 25                        | 60                                 | 14,0                              |
| jaro/podzim    | 10                        | 70                                 | 6,7                               |
| Zima           | 0                         | 80                                 | 3,9                               |

### 2.1.1 Důsledky navlhavosti u plastů /1/, /7/

V polymerních materiálech je dovolen rozdílný přípustný obsah zbytkové vlhkosti při jejich zpracování. Například Lustran (SAN) a Novodur (ABS) má přípustný zbytkový obsah vlhkosti v hmotnostních procentech 0,2%. Pokud u těchto materiálů dojde k ještě většímu nárůstu vlhkosti projevuje se to vzhledovými vadami, ale mechanické vlastnosti zůstanou většinou zachovány. Povrchové vady v podobě vlhkostních šmouh (viz obr. 2.4) na výrobku jsou způsobeny vytvářením vodních par v tavenině a bublin, které jsou doprovázeny přes rychlostní profil na čele toku k povrchu taveniny, kde při snaze vyrovnat tlak praskají a s postupujícím tokem jsou na stěnách formy ochlazeny, mají za následek znehodnocení výrobku, jeho povrch je porézni a hrubý. Tyto povrchové vady nemusí být způsobeny jen vlhkostí v materiálu, ale mohou být příčinou i zkondenzované vody na stěnách formy, v důsledku netěsnosti temperačního systému.

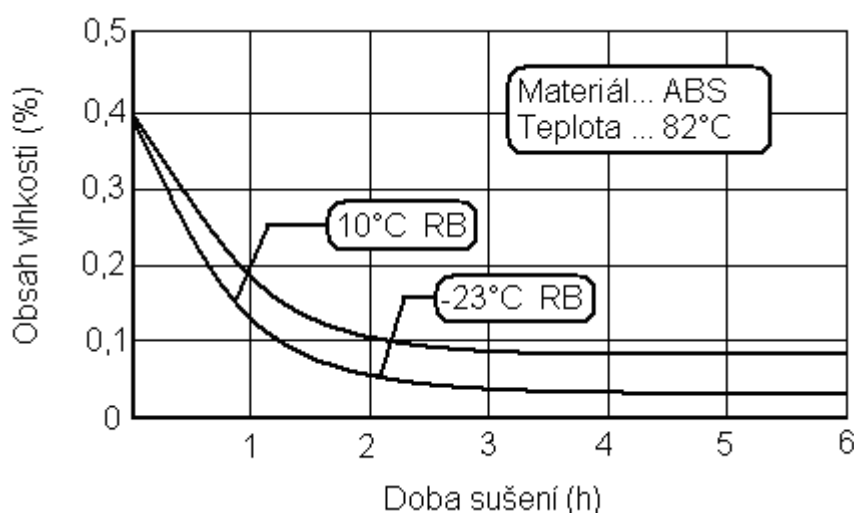


Obr. 2.4: Stopy po vlhkosti /7/

Příčinou navlhavosti plastů mohou být rozměrové změny výrobků a u některých materiálů v důsledku hydrologického odbourávání makromolekul zhoršení fyzikálních vlastností, změna mechanických vlastností (pokles pevnosti, tuhosti a zvýšení houževnatosti), zvýšení tekutosti taveniny snížením její viskozity, zhoršení dielektrických, tepelných a jiných užitných vlastností.

### 2.1.2 Vliv relativní vlhkosti vzduchu /1/, /8/

Základem udržení nízké vlhkosti polymeru je jeho skladování v suchém prostředí. Druhým základním parametrem je relativní vlhkost udávaná v procentech, která se též někdy označuje jako poměrná. Je to poměr mezi okamžitým množstvím vodních par ve vzduchu a množstvím par, které by měl vzduch o stejném tlaku a teplotě při plném nasycení. Dalším základním parametrem je teplota rosného bodu (viz obr. 2.5), při které je vzduch maximálně nasycen vodními parami (relativní vlhkost vzduchu dosáhne 100%). Pokud teplota klesne pod tento bod nastává kondenzace, nebo-li skupenská přeměna, při které se plyn mění v kapalinu, proto materiál sušený při stejné teplotě, ale jiné hodnotě rosného bodu bude mít po uplynutí doby sušení jiný obsah vlhkosti.



Obr. 2.5: Vliv rosného bodu na sušení polymeru /1/

Jednou z cest jak dosáhnout snížení relativní vlhkosti vzduchu je jeho zahřátí. Se zvyšováním teploty souvisí také obecné pravidlo, které říká, že čím vyšší je teplota sušení, tím rychleji je polymer vysušen, ale zahřívání má své hranice. Při vystavování vysokým teplotám na delší dobu může dojít například k tepelné degradaci, což je radikální změna fyzikálně-mechanických vlastností materiálu vyvolaná teplotou.

### 2.1.3 Stanovení obsahu vlhkosti /1/, /9/, /10/, /11/

Pro stanovení obsahu vlhkosti se používají metody, které lze rozdělit na základě jejich principu do následujících skupin:

- **Chemické metody**
- **Termogravimetrické metody**
- **Ztráta hmotnosti sušením**
- **Planimetrická metoda**

Mezi chemické metody patří především Karl Fischerova analytická metoda (titrační metoda), která patří k nejpřesnějším a je zároveň vhodná pro stopové analýzy a detekci vody. Avšak tato pracovní metoda musí být přizpůsobena specifickému vzorku.

**Karl Fischerova (KF) titrace** je metoda pro stanovení vlhkosti specifická pro vodu a je vhodná pro vzorky s vysokým obsahem vlhkosti (titrační analýza), ale také pro vzorky s obsahem vody v řádu ppm (coulometrie). Původně byla vyvinuta pro nevodné kapaliny, ale je také vhodná pro pevné látky, které jsou rozpustné, nebo kdy obsažená voda

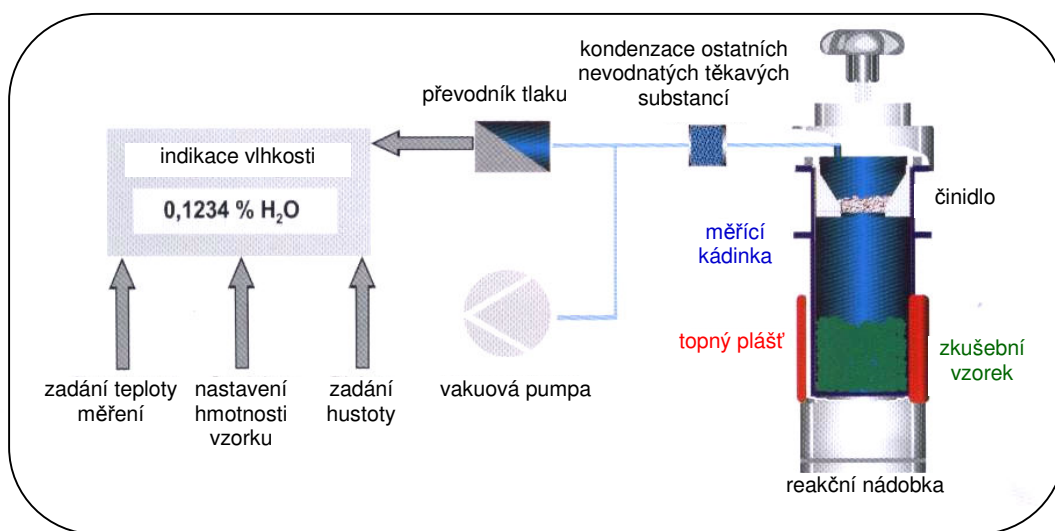
může být uvolněna ohřátím v proudu plynu nebo extrakcí. Efektivita u KF titrací může být podstatně zvýšena pomocí KF podavače vzorků s píčkou (viz obr. 2.6). Mezi další chemické metody patří manometrická metoda a metoda extrakce vody xylénem, která se používá pro lisovací pryskyřice.



Obr. 2.6: Automatizovaná  
Karl Fischerova metoda /9/

**Manometrická metoda** je chemická metoda používána velmi často v průmyslové praxi. Princip metody je schématicky znázorněn na obr. 2.7, kde voda obsažená ve vzorku plastu zahříváním v reakční nádobce reaguje s použitým chemickým činidlem, tj. karbidem vápníku podle rovnice  $\text{CaH}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2 + 2\text{H}_2$ . Reakce probíhá v reakční nádobce přístroje

Aquatrac+ (viz obr. 2.8) a k jejímu urychlení přispívá působení účinku tepla a vakua. Nádobka je zahřáta na měřící teplotu, z měřeného materiálu dochází k uvolnění vlhkosti, která reaguje s činidlem hydridem vápníku a vytváří se vodík. Tlak plynu v nádobce je úměrný obsahu vlhkosti obsažené ve vzorku a je sledovaný přes piezoelektrický snímač. Měření probíhá za vyloučení všech rušivých vlivů (jako je například vlhkost vzduchu) a jeho výsledky jsou srovnatelné s metodou Karl Fischer.



Obr. 2.7: Reakční schéma zařízení Aquatrac<sup>+</sup> /1/



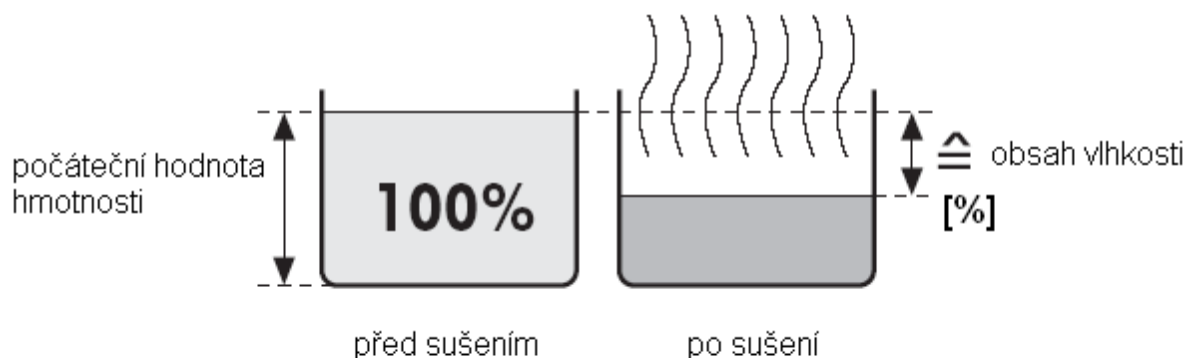
Obr. 2.8: Aquatrac+ /10/



Další skupinou metod stanovující obsah vlhkosti plastů jsou metody termogravimetrické, která sledují změnu hmotnosti (přírůstek, úbytek) vzorku a při statickém uspořádání posuzují okamžitou hmotnost v závislosti na čase při konstantní teplotě. Na principu termogravimetrických metod pracuje **Halogenový analyzátor** (viz obr. 2.9), který patří mezi nejnovější a nejefektivnější způsoby stanovení vlhkosti plastů téměř jakékoliv libovolné substance. Přístroj pracuje na základě termogravimetrického principu, kdy na začátku měření stanoví analyzátor vlhkosti hmotnost vzorku, pak je vzorek rychle rovnoměrně zahřát a jeho vlhkost se odpaří (viz obr. 2.10). Během sušení stanovuje přístroj neustále hmotnost vzorku a zobrazuje úbytek vlhkosti. Po ukončení sušení se zobrazí konečný výsledek v podobě obsahu vlhkosti nebo v podobě obsahu suché substance vzorku.



Obr. 2.9: Halogenový analyzátor obsahu vlhkosti /11/



Obr. 2.10: Schéma halogenového analyzátoru /1/

## **2.2 SUŠENÍ /5/**

Se sušením, jako technologickou operací, se musí počítat vždy v případech, kdy hmota přišla v předchozí operaci do styku s vodou, například při již zmiňované granulaci hmoty, kdy vytlačovaný profil prochází vodní chladicí lázní, nebo při samotné polyreakci k výrobě polymeru, apod. Po výrobě granulátu a jeho vyšsušení by se měl granulát i nadále uchovávat tak, aby byl chráněn před opětovným navlhnutím z ovzduší. Dnes je běžné, že násypky strojů jsou vyhřívány a teplota materiálu se udržuje na potřebné výši proudem horkého vzduchu.

### **2.2.1 Rychlost sušení granulátu /1/, /5/**

Rychlost sušení, podle které se dá určit požadovaná vlhkost za konstantní je z technologického hlediska nejdůležitější (viz tab. 2.2) lze považovat jen při odpařování z volného povrchu. S rychlostí sušení souvisí především velikost a tvar sušeného granulátu. Granulát plastu, který je v sušárně obklopen teplým vzduchem, potřebuje dostatek času, aby teplo prostoupilo až do jádra granulí. Jakmile se dostane teplo až k jádru, začnou molekuly vody difundovat k povrchu granule, směrem k teplému a suchému vzduchu. S ohledem na rychlost resp. dobu sušení jsou vhodnější granuláty menších rozměrů, které urychlují dobu sušení. V dnešní době se technické granuláty vyvíjí a dodávají ve spolupráci se zákazníky na základě posouzení jejich konkrétních potřeb z hlediska požadovaných vlastností konečného výrobku. Mezi běžné tvary granulí se řadí kuličky, krychličky, čocky a válečky viz obr. 2.11.

Rychlost sušení lze příznivě zintenzivnit cirkulací vzduchu v sušícím zařízení. Pomocí cirkulace vzduchu dochází k většímu obtékání granulátu vzduchem a k účinnějšímu odběru molekul vody. Proces sušení, stejně jako proces navlhání je tedy řízen teplotou a relativní vlhkostí prostředí, dobou sušení, cirkulací vzduchu a velikostí granulátu.





Obr. 2.11: běžné tvary granulátu /4/

Tab. 2.2: Podmínky sušení pro vybrané polymery /6/

| PLAST                      | PE        | PP        | PS | ABS | SAN,ASA | PA6 |
|----------------------------|-----------|-----------|----|-----|---------|-----|
| <b>Teplota sušení /°C/</b> | *50-70    | *80       | 80 | 80  | 80      | 80  |
| <b>Doba sušení /hod/</b>   | *0,5 až 1 | *0,5 až 1 | 3  | 3   | 3       | 7   |

| PA66  | PA11,PA12 | PMMA   | PC      | POM     | PBT    | PPO    | PU |
|-------|-----------|--------|---------|---------|--------|--------|----|
| 60-70 | 100       | 70-80  | 120-130 | 120-130 | 120    | 95-100 | 80 |
| 6     | 3 až 6    | 2 až 4 | 4 až 20 | 4       | 2 až 4 | 1 až 2 | 3  |

poznámka:

Hodnoty označené \* udávají teploty a doby sušení při nevhodném skladování, jinak se polyolefiny nemusí sušit.

## 2.2.2 Možnosti sušení plastů /5/, /8/, /12/, /13/, /14/, /15/, /16/

Základní uspořádání sušáren je podle procesu a to jedná-li se o sušárnu **s přetržitým** provozem, nebo **s nepřetržitým provozem** (např. *válcová sušárna s vytápěnými válci*).

Válcová sušárna je příkladem kontinuálně pracující sušárny s vytápěnými válci. Podle potřeby může být válcová sušárna kombinována s pásovou, kde se sušení dokončí.

Sušárny lze také dělit podle tlaku při kterém se suší a to na **atmosférické a vakuové**, dále se podle oběhového systému dělí na **uzavřené, otevřené** (vzduch nasycený vlhkostí se odvádí do volného prostoru), **přírozené** (nezaručuje stejnoměrnou teplotu) nebo **s nuceným oběhem**. Mezi poslední způsob podle kterého dělíme sušárny je vzájemný

pohyb sušeného materiálu a média. Může se jednat o **souproudé**, **protiproudé** sušárny, nebo sušárny se **skříženými proudy**.

**Atmosférické sušárny:** Hlavním znakem těchto sušáren je tlak sušícího média, který se rovná atmosférickému nebo se nepatrně liší. Podle vzájemného pohybu sušeného materiálu a média může sušení probíhat při souproudém, protiproudém a kříženém sušení, které vzniká jejich kombinací. Při souprodu se polymer stýká s ochlazeným vzduchem, tudíž jeho teplota při odchodu ze sušárny je poměrně nízká. Jejich použití je vhodné především pro polymery, které snášejí intenzivní sušení. Jinak je tomu u protiprodu, kde se sušící medium s nejvyšší teplotou a nejnižší vlhkostí stýká s vysušeným materiálem a na rozdíl od souproudu se hodí spíše pro polymery, které nesnášejí velkou rychlost sušení.

**Sušárny a nízkoteplotní pece:** (viz obr. 2.12) jsou vhodné pro vysoušení, vulkanizaci, vytvrzování povrchových vrstev, vysoušení granulátu a předehřev různých materiálů. Horizontální cirkulace vnitřní atmosféry zajišťuje rovnoměrné rozložení teploty ve vnitřním objemu peci. Kvalitní izolační materiál přináší nízké provozní náklady pece, malé vnější rozměry a nízkou hmotnost zařízení.



Obr. 2.12: Komorová sušárna /12/

**Sušení horkým vzduchem:** Jedná se o jednoduché sušení a předehřev materiálu s nízkými náklady na pořízení. Tato horkovzdušná

sušící síla (viz obr. 2.13) se mohou namontovat přímo na stroj nebo na rám vedle stroje.



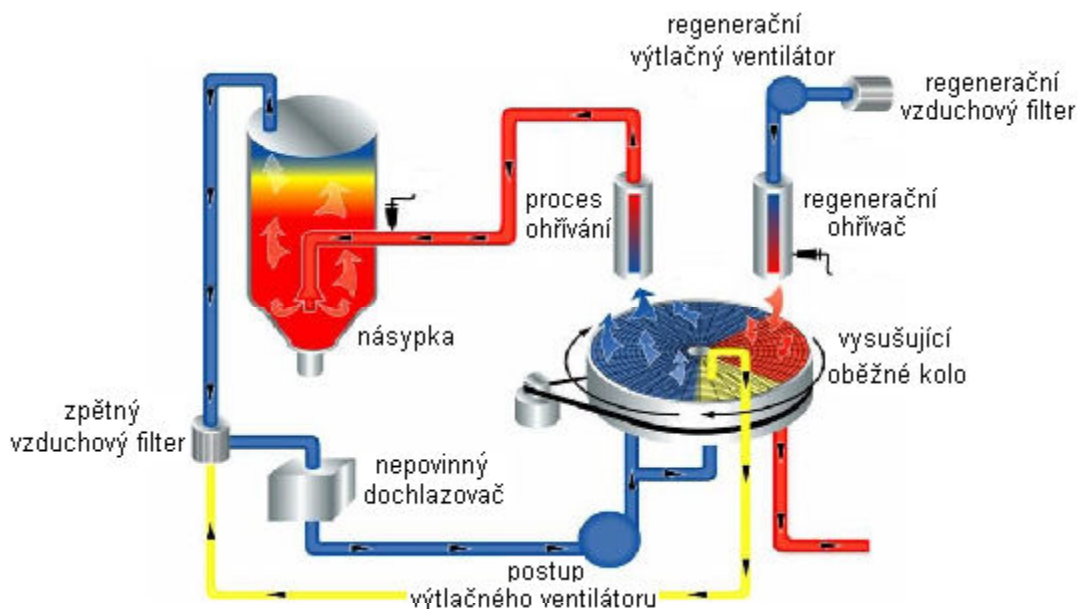
Obr. 2.13: Horkovzdušná sušící síla /13/

**Mikrovlnné sušení:** Při konvenčním ohřevu postupuje teplo z povrchu dovnitř a vlhkost vystupuje zevnitř na povrch, kde se odpařuje. Při hloubkovém působení mikrovln se ohřívá i vnitřek produktu a vlhkost je vytěsňována směrem k místu nižšího tlaku, tedy na povrch materiálu, který je chladný, protože okolní vzduch se mikrovlnami neohřívá. Touto vodní pumpou se dosáhne rychlého a efektivního odvodu vody.

Na rozdíl od jiných způsobů ohřevu je možné dielektrickým ohřevem dosáhnout vyšší teploty uvnitř produktu, než na jeho povrchu. Díky tomu, že se materiál ohřívá v celém objemu, dosahujeme vysoké rovnoměrnosti prohřátí a přesné regulace teploty. Také je možné zabránit zahřátí některé části materiálu nad limitní teplotu. Výrobky, materiál lze sušit v obalu, protože působení elektromagnetických vln není závislé na tepelné vodivosti, a tak je vnější izolující vrstvy nijak neovlivňují. Dielektrickým ohřevem se zvyšuje jakost výrobku a tím i jeho prodejnost. Stejně kvality zpracování či podobného řešení daného procesu lze konvenčními způsoby ohřevu dosáhnout buď velmi obtížně anebo vůbec.

**Sušení voštinovými kotouči:** Jedná se o uzavřený systém pro sušení, který má nízký rosný bod ( $-50^{\circ}\text{C}$ ). Tento systém je schématicky znázorněn na obr. 2.14 a využívá dvou navzájem propojených systémů: uzavřený sušící systém a otevřený sušící systém pro regeneraci vzduchu.

Rotor adsorpčního odvlhčovacího zařízení, nebo-li voštinový kotouč má malé vzduchové kanálky s velmi velkou kontaktní plochou. Uvnitř těchto kanálků je nanесena látka, která pohlcuje vlhkost (tj. *silikagel, lithium chlorid, molekulární síto atd.*).

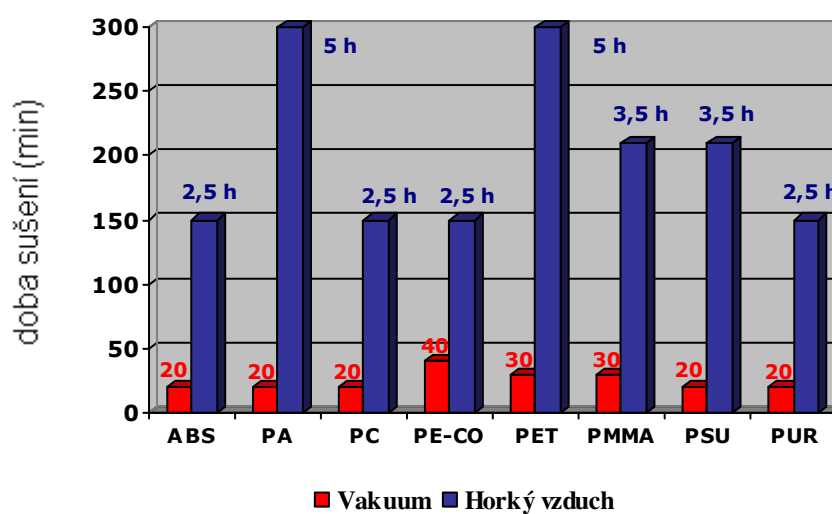


Obr. 2.14: Schéma voštinového kotouče /14/

Vakuové sušárny: (viz obr. 2.15) se používají pro práci s těkavými látkami, například k sušení vzorků obsahujících rozpouštědla, která mohou být navíc zachycována a následně recyklována. Mohou dosáhnout kratších sušících času díky vysokému vakuu, dále mohou zabránit oxidačním procesům a dají se využít i k sušení práškových látek s nízkou objemovou hmotností, aniž by vznikaly turbulence, které by mohly prášek rozvířit. Způsoby ohřevu, kde se teplo na vzorek předává vedením jsou různé a můžeme zvolit nejrůznější topná media. Na obr. 2.16 je provedeno srovnání potřebné doby sušení u vybraných materiálů sušených v atmosférických a vakuových sušárnách. Konstrukce vakuových sušáren může být řešena jako skříňová nebo „karuselově“, což je způsob umožňující výměnu materiálu za provozu, dosahující 70÷80% úspor energie oproti konvenčním systémům.



Obr. 2.15: Vakuové sušárny a podtlakové sušící stroje /16, 15, 13/



Obr. 2.16: Sušení ve vakuu a horkým vzduchem – porovnání časů /1/

### **3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST**

Experimentální část bakalářské práce zkoumá vliv navlhavosti, respektive doby kondicionace materiálu na jeho postupnou změnu mechanických vlastností. Pro experimentální měření byla použita polymerní směs PC/ASA Geloy FXW751 SK. Tento materiál byl před zpracováním sušen, poté z něho byly vstřikováním zhotoveny vzorky (v souladu s mezinárodními standardy), které se nakonec podrobily mechanickým zkouškám (zkoušce rázem, ohybem, tvrdosti a tahem). Dosažené hodnoty byly zaznamenávány do tabulek a postupně graficky vyhodnocovány.

#### **3.1 PŘÍPRAVA VZORKŮ**

Před vlastním měřením mechanických zkoušek bylo nutné vyrobit zkušební tělesa požadovaného tvaru. K výrobě vzorků byl použit granulovaný materiál PC/ASA Geloy FXW751SK s absorpcí vody 0,25% při standardním prostředí 23/50 dle ISO 62, který byl před začátkem výroby sušen v horkovzdušné sušárně s nuceným oběhem vzduchu při teplotě 100 °C po dobu 4 hodin v souladu s materiálovou specifikací. Takto vysušený materiál byl vložen do násypky poloautomatického vstřikovacího lisu sloupkové konstrukce ENGEL ES 25/50 (viz obr. 3.1) a vstřikován za podmínek uvedených v tab. 3.1.



Obr. 3.1: Vstřikovací lis /3/

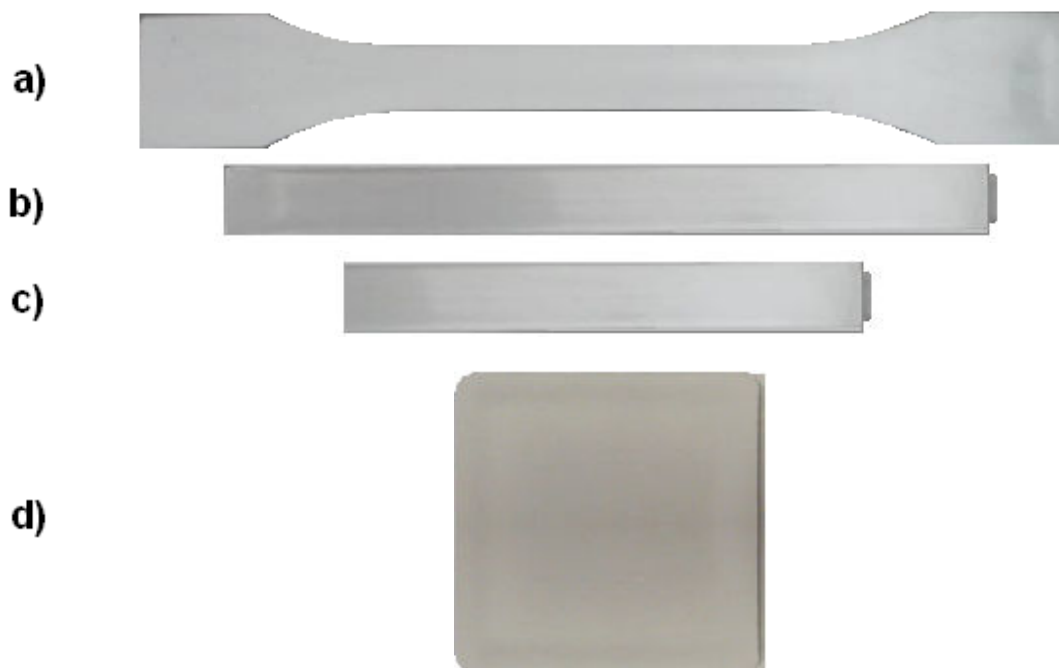


Tab. 3.1: Technologické podmínky vstřikování zkušebních těles

| Údaj pro parametr                  | Jedn. | Zkušební těleso pro zkoušku tahem | Zkušební těleso pro zkoušku ohybem a rázem | Zkušební těleso pro zkoušku tvrdosti |
|------------------------------------|-------|-----------------------------------|--|--------------------------------------|
| <b>Teplota tavicí komory</b>       |       |                                   |  |                                      |
| <b>1. pásmo</b>                    | °C    | 190                               | 190  | 190                                  |
| <b>2. pásmo (střed)</b>            | °C    | 170                               | 170  | 170                                  |
| <b>3. pásmo (násypka)</b>          | °C    | 150                               | 150  | 150                                  |
| <b>proud na trysce</b>             | A     | 0,6                               | 0,6  | 0,6                                  |
| <b>průměr trysky</b>               | mm    | 3                                 | 3  | 3                                    |
| <b>průměr dýzy</b>                 | mm    | 5                                 | 5  | 6                                    |
| <b>doba vstřiku + dotlaku</b>      | s     | 10                                | 10   | 10                                   |
| <b>doba chlazení po plastikaci</b> | s     | 25                                | 25   | 25                                   |
| <b>doba manipulace</b>             | s     | 12                                | 14   | 12                                   |
| <b>doba plastikace</b>             | s     | 10                                | 8  | 10                                   |
| <b>doba celého cyklu</b>           | s     | 60                                | 60   | 60                                   |
| <b>vstřikovací tlak</b>            | MPa   | 6                                 | 6  | 5                                    |
| <b>uzavírací tlak</b>              | MPa   | 14                                | 14   | 14                                   |
| <b>zpětný odpor</b>                | MPa   | až 8                              | až 8                                       | až 8                                 |
| <b>teplota temperovaného media</b> | °C    | 70                                | 70   | 70                                   |
| <b>TEPLOTA TAVENINY</b>            | °C    | 275                               | 275  | 275                                  |

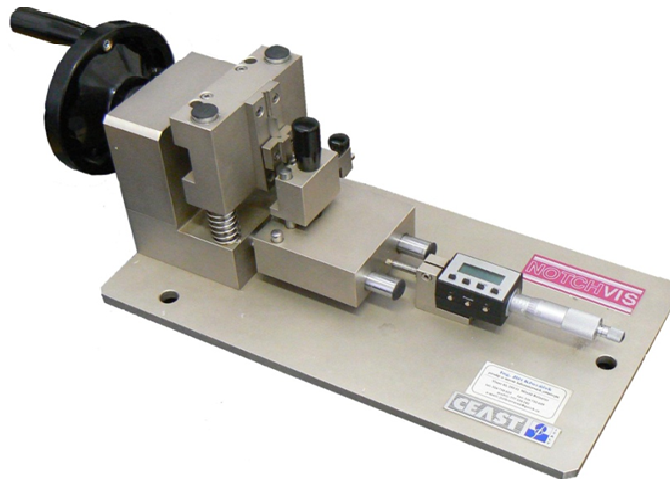
Pro měření různých mechanických vlastností bylo zapotřebí vyrobit zkušební vzorky odlišných tvarů, tudíž bylo nutné použít i jiné vstřikovací formy. Vzorky pro hodnocení mechanických vlastností byly vyrobeny v univerzální dvoudeskové formě s jednou dělicí rovinou, kuželovým vtokem a temperančním systémem s cirkulující vodou v temperančních kanálech formy, umožňující výměnu kotevní desky tvárnice s tvarovými dutinami, jež odpovídají standardům pro hodnocení mechanických vlastností plastů.

Při výrobě zkušebních vzorků pro zkoušku tahem (viz obr. 3.2 a) byla použita kotevní deska s dvounásobnou dutinou formy, kuželovým vtokem a štěrbínovým ústím vtoku. Rovněž k výrobě těles pro ohybovou a rázovou zkoušku bylo použito dvounásobné kotevní desky, s kuželovým vtokem a štěrbínovým ústím vtoku, ovšem s jednou tvarovou dutinou pro zkušební tělesa na ohyb (viz obr. 3.2 b) a druhou pro zkušební těleso na rázovou zkoušku (viz obr. 3.2 c). Na zkušebních tělesech pro rázovou zkoušku byl vzhledem k povaze materiálu zhotoven normalizovaný tvar vrubu typu A dle ČSN EN ISO 179 pomocí mechanické vrubovačky s digitálním mikrometrem (viz obr. 3.3). Vzorky ve tvaru desky (viz obr. 3.2 d) pro stanovení tvrdosti byly vyrobeny ve formě s kotevní deskou a dvěma tvarovými dutinami s filmovým ústím vtoku.



Obr. 3.2: Zkušební vzorky pro: a) tah, b) ohyb, c) ráz, d) tvrdost





Obr. 3.3: Vrubovačka CEAST s mikrometrem

### 3.2 MĚŘENÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ

Po vyrobení zkušebních vzorků bylo provedeno ihned první měření (první šarže), aby se zjistily mechanické vlastnosti bezprostředně po výrobě. Poté se měření provádělo s různým časovým odstupem jednoho až několika dnů. Tyto prodlevy byly nutné k tomu, aby se zjistilo jak se případně mění mechanické vlastnosti výstřiků v důsledku navlhavosti materiálu, resp. v závislosti na jejich době kondicionace při standardním prostředí 23/50 dle ČSN ISO 291.

#### 3.2.1 Měření tahových vlastností /17/, /18/

U tahové zkoušky se zkušební těleso ve tvaru oboustranných lopatek (viz obr 3.2 a), které by nemělo být pokroucené a ani jinak povrchově porušené, protahovalo ve směru své hlavní podélné osy konstantní rychlostí zkoušení 50 mm/min dle podmínek ČSN EN ISO 527 až do okamžiku jeho porušení.

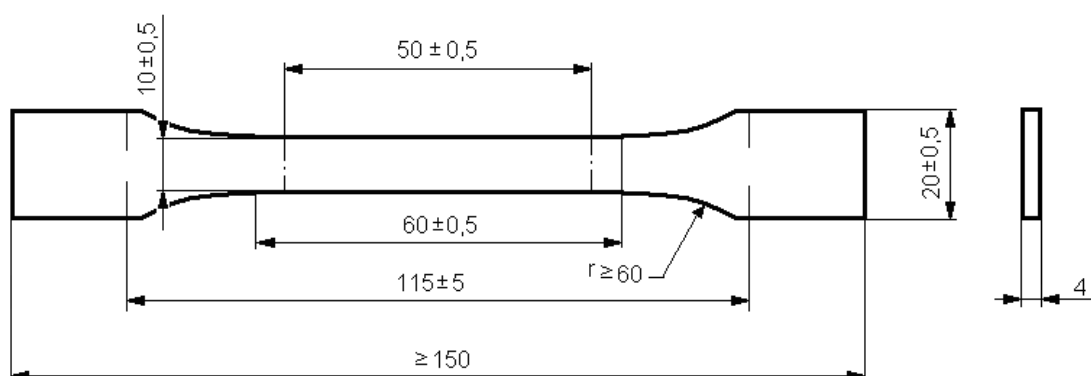
Tahová zkouška byla provedena ve shodném standardním prostředí na trhačím zařízení značky Hounsfield H10KT (viz obr. 3.4) se softwarem QMAT a průtahoměrem 100RC, který umožňuje stanovení relativní změny počáteční měřené délky zkušebního tělesa v průběhu celé zkoušky. Při měření v každé šarži, tj v každém měřeném časovém okamžiku bylo použito 5 zkušebních těles, které se upevňovaly do upínacích čelistí (viz obr. 3.5).

Geometrie a rozměry zkušebních těles jsou znázorněny na obr. 3.6. Všechny naměřené průměrné hodnoty, včetně statistického vyhodnocení jsou pro všechny šarže, resp. v závislosti na době kondicionace zaznamenány v tabulkách (viz tab. 3.2).



Obr. 3.4: Trhací stroj Hounsfield H 10 KT /3/

Obr. 3.5: Detail upínacích čelistí, vzorku a průtahoměru



Obr. 3.6: Tvar a rozměr zkušebního tělesa

Tab. 3.2: Průměrné hodnoty naměřené při zkoušce tahem

| Počet dnů od výroby | šarže | $\sigma_y = \sigma_M$ (MPa) | $\epsilon_y$ (%) | $\sigma_B$ (MPa) |
|---------------------|-------|-----------------------------|------------------|------------------|
| 0                   | 1     | 56,4 ± 0,5                  | 3,3 ± 0,3        | 44,5 ± 1,2       |
| 1                   | 2     | 56,3 ± 0,6                  | 3,4 ± 0,2        | 46,3 ± 0,8       |
| 2                   | 3     | 56,1 ± 0,3                  | 3,4 ± 0,2        | 44,6 ± 0,8       |
| 3                   | 4     | 57,1 ± 0,6                  | 3,6 ± 0,2        | 45,7 ± 0,5       |
| 6                   | 5     | 57,0 ± 0,9                  | 2,8 ± 1,6        | 39,7 ± 13,7      |
| 9                   | 6     | 58,2 ± 0,2                  | 3,7 ± 0,2        | 45,9 ± 0,8       |
| 14                  | 7     | 57,4 ± 0,1                  | 3,7 ± 0,4        | 45,3 ± 0,3       |

poznámka:

 $\sigma_y = \sigma_M$  (MPa) .....mez kluzu = mez pevnosti v tahu

 $\epsilon_y$  (%) .....poměrné prodloužení na mezi kluzu

 $\sigma_B$  (MPa) .....napětí v tahu při přetržení

### 3.2.2 Měření ohybových vlastností /19/

Zkouška ohybem se používá ke zjištění a stanovení pevnosti v ohybu u zkušebních těles (viz obr. 3.2 b) a dalších závislostí mezi napětím a deformací za definovaných podmínek podle ČSN EN ISO 178. Podstata zkoušky spočívá v zatěžování tělesa volně podepřeného dvěma podpěrami (o vzdálenosti 64 mm) přitlačným trnem uprostřed jejich rozpětí (tříbodový ohyb), viz obr. 3.7.

Zkouška ohybem byla prováděna opět ve standardním prostředí na stroji značky Hounsfield H10KT (viz obr. 3.4) se softwarem QMAT, při konstantní rychlosti zkoušky 2 mm/min, do zdvihu 16 mm. Při každém měření (šarži) bylo k dispozici 5 zkušebních těles, jejichž geometrie a rozměry jsou uvedeny na obr. 3.8. Výsledky ohybových vlastností jsou zaznamenány v tab. 3.3.

Po odměření každého vzorku bylo nutné z měřené závislosti napětí v ohybu na deformaci odečíst hodnoty napětí, které se vztahovaly k deformacím  $\epsilon_{f1}=0,05\%$ ,  $\epsilon_{f2}=0,25\%$ , z nichž byl následně podle rovnice (3.1) vypočítán modul pružnosti v ohybu.

$$E_f = \frac{\sigma_{f2} - \sigma_{f1}}{\epsilon_{f2} - \epsilon_{f1}} \quad (3.1)$$

Kde:

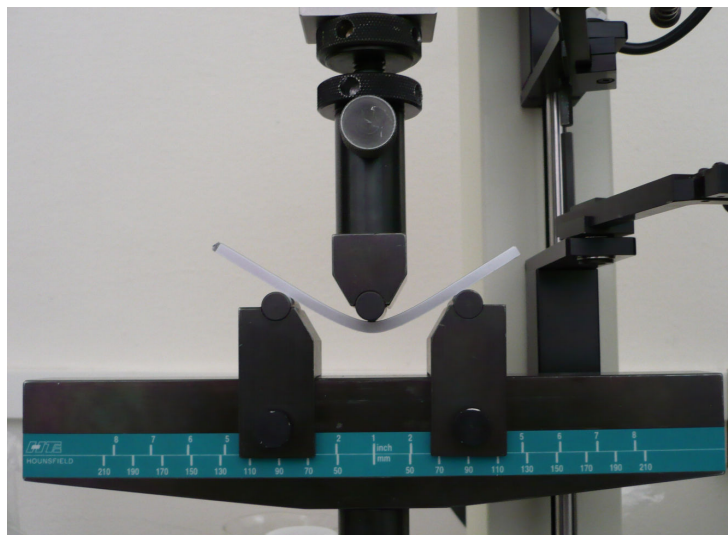
$E_f$ .....modul pružnosti v ohybu (MPa)

$\sigma_{f1}$ .....napětí v ohybu při deformaci  $\epsilon_{f1}$  (MPa)

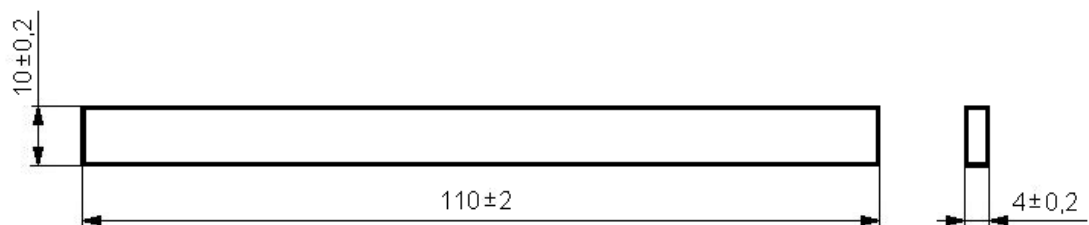
$\sigma_{f2}$ .....napětí v ohybu při deformaci  $\epsilon_{f2}$  (MPa)

$\epsilon_{f1}$ .....deformace ohybem 0,05 (%)

$\epsilon_{f2}$ .....deformace ohybem 0,25 (%)



Obr. 3.7: Detail zatěžovaného tělesa (tříbodový ohyb)



Obr. 3.8: Tvar a rozměr tělesa pro zkoušku ohybem

Tab. 3.3: Průměrné hodnoty naměřené při zkoušce ohybem

| Počet dnů od výroby | šarže | $\sigma_{fM}$ (MPa) | $E_{fM}$ (MPa) | $\epsilon_{fM}$ (%) |
|---------------------|-------|---------------------|----------------|---------------------|
| 0                   | 1     | 81,5 ± 0,7          | 1939,5 ± 57,2  | 68,11 ± 0,9         |
| 1                   | 2     | 81,4 ± 0,2          | 2009,8 ± 48,0  | 68,06 ± 0,2         |
| 2                   | 3     | 82,1 ± 0,7          | 2062,4 ± 0,0   | 69,03 ± 0,2         |
| 3                   | 4     | 82,3 ± 0,4          | 2009,7 ± 72,1  | 69,46 ± 0,2         |
| 6                   | 5     | 83,1 ± 0,2          | 1957,1 ± 58,8  | 70,88 ± 0,3         |
| 9                   | 6     | 83,2 ± 0,3          | 1974,7 ± 62,0  | 71,12 ± 0,1         |
| 14                  | 7     | 83,8 ± 0,4          | 1992,2 ± 58,8  | 71,48 ± 0,1         |

poznámka:

 $\sigma_{fM}$  (MPa) ..... pevnost v ohybu

 $\epsilon_{fM}$  (%) .....deformace v ohybem

 $E_f$  (MPa) .....modul pružnosti v ohybu

### 3.2.3 Měření vrubové houževnatosti Charpy /20/

Hodnocení vrubové houževnatosti metodou Charpy bylo prováděno rovněž ve standardním prostředí. Ještě před vlastním měřením se muselo zkontrolovat kladivo, zda má předepsanou rychlost rázu a je správně zvoleno tak, že absorbovaná energie potřebná k přeražení tělesa leží v intervalu 10% až 80% celkové (nominální) energie kladiva. Před vlastním měřením se provedlo prázdné spuštění kladiva, aby se mohla zaznamenat celková ztráta energie třením. Po seřízení a nastavení přístroje se vložil mezi podpěry (o vzdálenosti 64 mm) vodorovně předepsaný vzorek s normalizovaným vrubem typu A (o rozměrech viz obr. 3.9) dle ČSN EN ISO 179 tak, aby ráz působil na užší stěnu proti vrubu (rychlost rázu 2,9 m/s ± 10%) a směr nárazu byl veden středem vzdáleností mezi podpěrami. Po ustavení vzorku na podpěry došlo k uvolnění kladiva a záznamu energie spotřebované k přeražení zkušebního tělesa, z níž se vztažením na původní průřez tělesa pod vrubem zjistila vrubová houževnatost (viz rovnice 3.2).

$$a_{cA} = \frac{W}{h \cdot b_N} \times 10^3 \quad (3.2)$$

Kde:

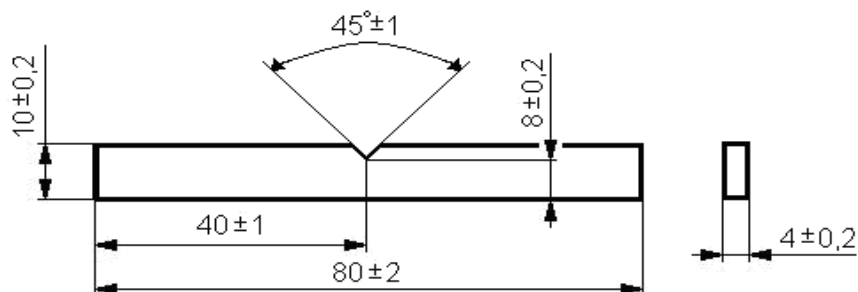
$a_{CA}$ .....vrubová houževnatost Charpy ( $\text{kJ/m}^2$ )

$W$ .....energie potřebná k přeražení tělesa (J)

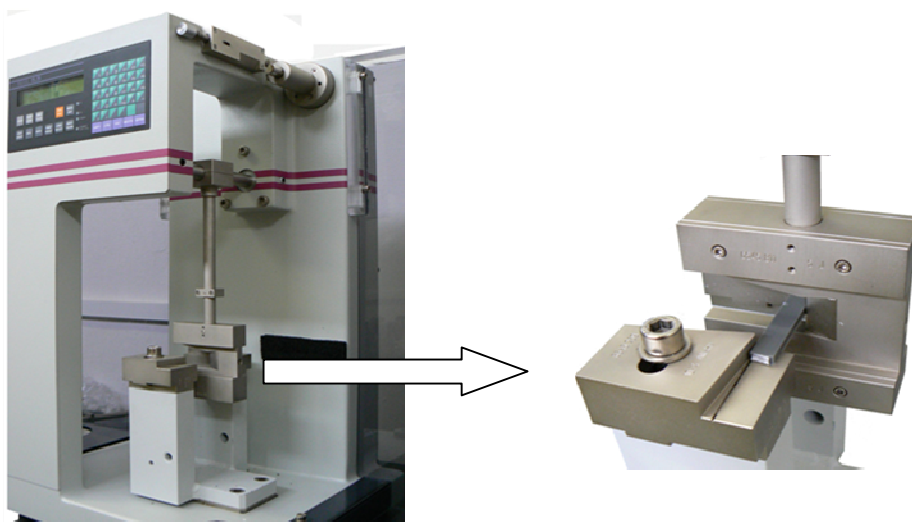
$b_N$ .....šířka tělesa pod vrubem (mm)

$h$ .....tloušťka tělesa (mm)

Měření bylo prováděno na rázovém kladivu CEAST Resil 5.5 (viz obr. 3.10), které je schopno měřit a stanovit rychlost rázovou, energii spotřebovanou k přeražení i rázovou houževnatost samotnou.



Obr. 3.9: Tvar a rozměr tělesa pro zkoušku rázem



Obr. 3.10: Měřicí sestava k určení vrubové houževnatosti společně s detailem rázového kladivo

Pro každou šarži bylo měřeno vždy 10 vzorků. Všechny hodnoty, jež byly zkouškou získány, jsou zaznamenány v tab. 3.4.

Tab. 3.4: Průměrné hodnoty naměřené rázovou zkouškou

| Počet dnů od výroby | šarže | W (J)         | v (m/s)       | a <sub>cA</sub> (kJ/m <sup>2</sup> ) |
|---------------------|-------|---------------|---------------|--------------------------------------|
| 0                   | 1     | 0,599 ± 0,068 | 2,881 ± 0,005 | 18,7 ± 2,1                           |
| 1                   | 2     | 0,602 ± 0,014 | 2,882 ± 0,003 | 18,8 ± 0,4                           |
| 2                   | 3     | 0,596 ± 0,036 | 2,882 ± 0,002 | 18,6 ± 1,1                           |
| 3                   | 4     | 0,583 ± 0,031 | 2,882 ± 0,004 | 18,2 ± 0,9                           |
| 6                   | 5     | 0,531 ± 0,039 | 2,879 ± 0,003 | 16,6 ± 1,2                           |
| 9                   | 6     | 0,538 ± 0,013 | 2,878 ± 0,002 | 16,8 ± 0,4                           |
| 14                  | 7     | 0,527 ± 0,018 | 2,879 ± 0,005 | 16,5 ± 0,6                           |

poznámka:

W (J) .....energie potřebná k přeražení tělesa

v (m/s) .....skutečná rychlost rázu

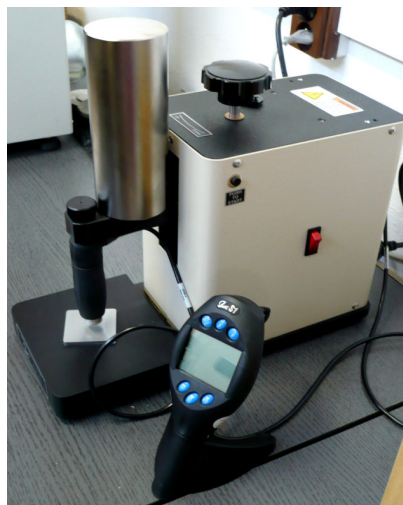
a<sub>cA</sub> (kJ/m) .....vrubová houževnatost Charpy

### 3.2.4 Měření tvrdosti Shore D /21/

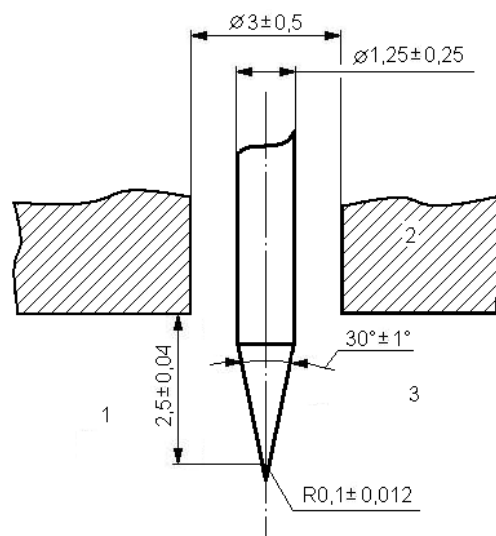
Podstatou zkoušky je měření hloubky vtačeného hrotu (viz obr. 3.11). Pro daný materiál, který je tvrdší povahy, bylo použito tvrdoměru typu D s hrotem ve tvaru kužele (viz obr. 3.12) a přitlačné síly 50 N.

Při měření tvrdosti podle ČSN EN ISO 868 bylo použito jedno těleso (viz obr. 3.3 d) pro danou šarži, vždy odebrané ze shodné tvarové dutiny formy. Povrch zkušebního tělesa byl rovný, hladký a dostatečně velký tak, aby se opěrná patka tvrdoměru dotýkala zkušebního tělesa na ploše a zároveň bylo každé měření provedeno v dostatečné vzdálenosti od sebe nejméně 12 mm (od kteréhokoliv okraje výstřiku) dle normy.

Na zkušebních tělesech o rozměrech dle obr. 3.13 bylo měřeno 10 míst a stanovená tzv. okamžitá hodnota tvrdosti v čase 1 s, včetně statistického vyhodnocení je uvedena v tab. 3.5.

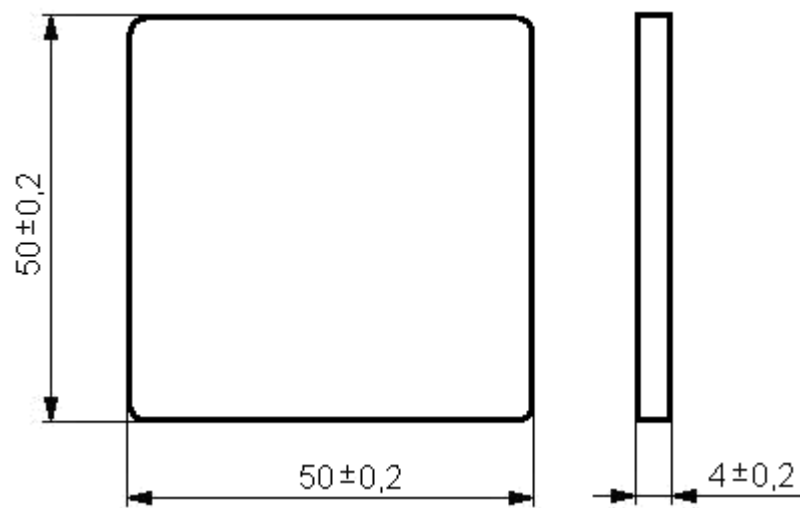


Obr. 3.11: Tvrdoměr Shore D



Obr. 3.12: Zkušební hrot tvrdoměru D

1 úplné vysunutí  
2 opěrná patka  
3 zkušební hrot



Obr. 3.13: Tvar a rozměr tělesa pro zkoušku měření tvrdosti





Tab. 3.5: Průměrné hodnoty tvrdosti Shore D

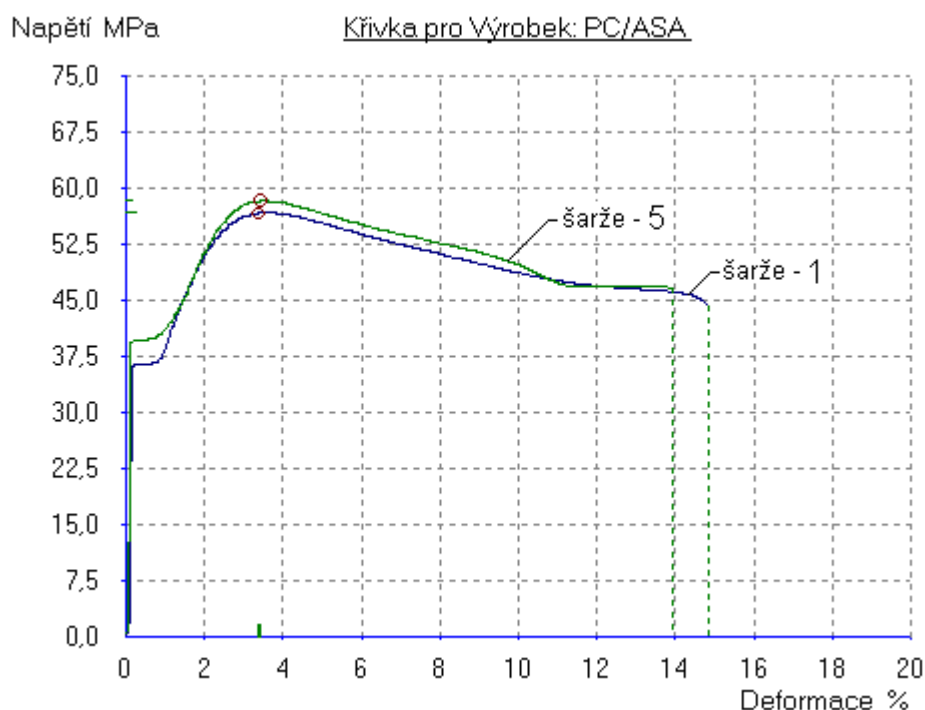
| 0.den / 1.šarže | 1.den / 2.šarže | 2.den / 3.šarže  | 3.den / 4.šarže |
|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|
| 75,6 ± 2,5      | 75,6 ± 2,1      | 76,4 ± 1,8       | 74,3 ± 1,0      |
| 6.den / 5.šarže | 9.den / 6.šarže | 14.den / 7.šarže |                 |
| 74,3 ± 1,2      | 75,2 ± 0,9      | 75,4 ± 0,7       |                 |

## 4 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ A JEJICH DISKUSE

Vyhodnocení výsledků mechanických zkoušek je rozděleno do čtyř částí. V každé části je více či méně zachycena změna mechanických vlastností v důsledku navlhavosti materiálu. Naměřené hodnoty jsou vyjádřeny graficky.

### 4.1 TAHOVÉ VLASTNOSTI

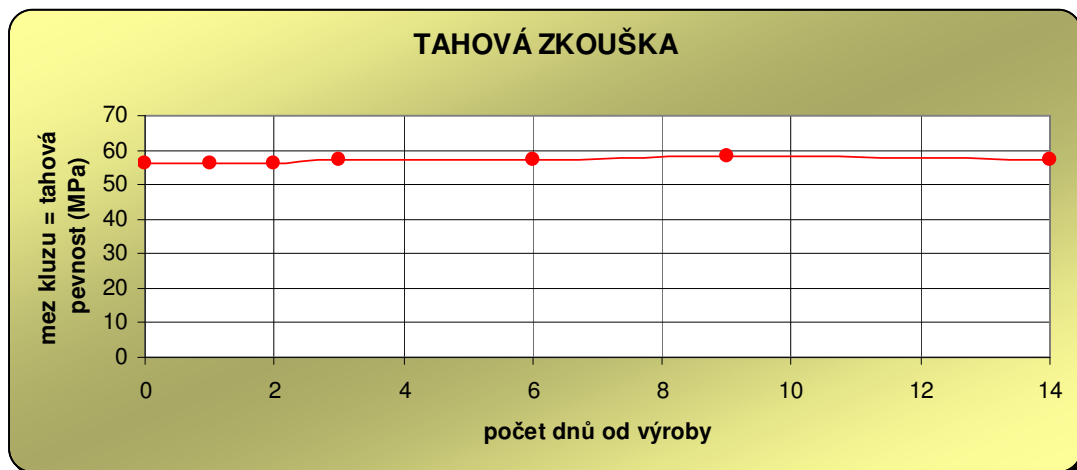
Mechanická zkouška tahem proběhla dle ČSN ISO 527 a její průběh byl zaznamenáván do grafu (viz obr. 4.1) v závislosti napětí na deformaci.



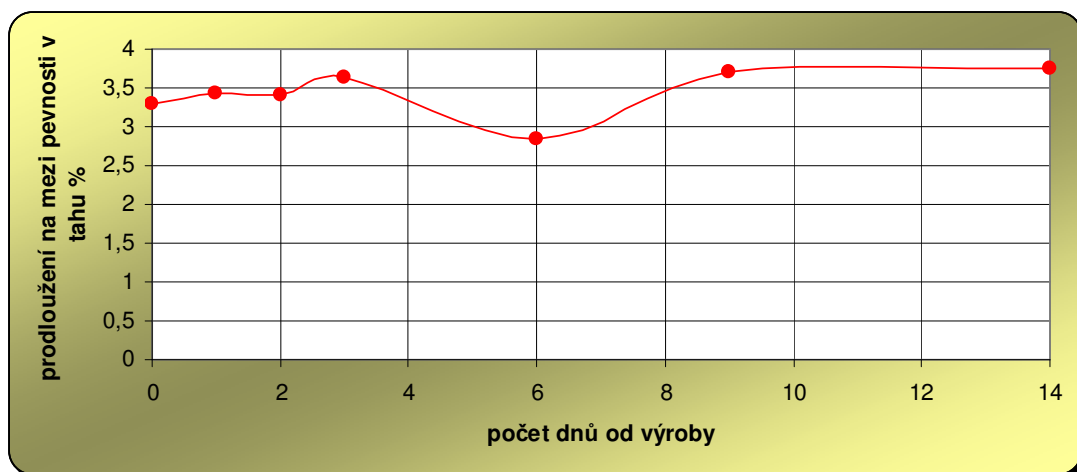
Obr. 4.1: Grafické znázornění tahové zkoušky pro šarži 1 a 5

Na obrázku můžeme vidět grafické znázornění tahové mechanické zkoušky dvou stejných vzorků, které se liší pouze časovým odstupem prováděného měření. Modře zbarvená křivka patří vzorku, který se zkoušel ihned po výrobě. Tento vzorek má vzhledem k rozptylu naměřených hodnot shodnou mez pevnosti se vzorky měřenými šestý den, který je v grafu znázorněn zelenou křivkou. Časový průběh meze kluzu, resp. meze pevnosti v tahu je graficky znázorněn na obr. 4.2 a je zřejmé, že ke změně napětí na

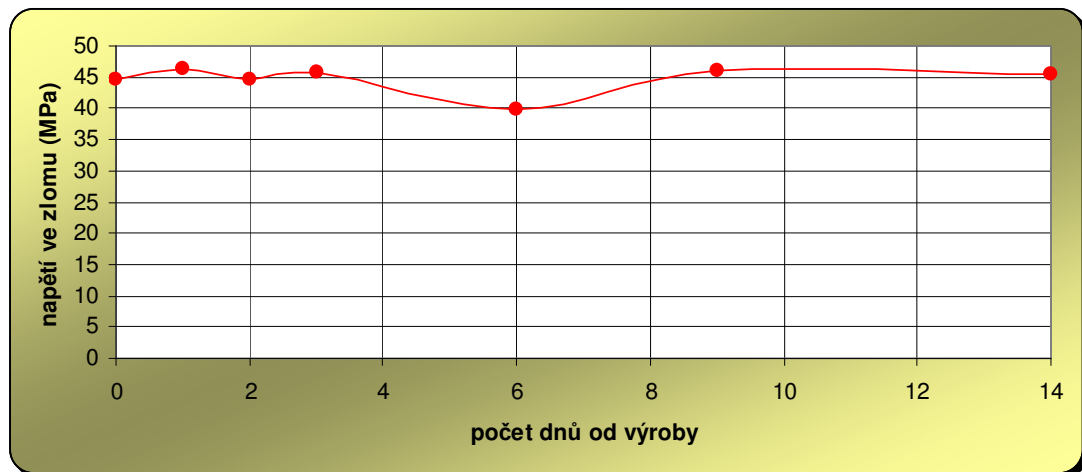
mezi pevností v tahu v závislosti na době kondicionace nedochází. Obdobně je vyjádřena časová závislost poměrného prodloužení na mezi pevnosti v tahu (viz obr. 4.3) a napětí při přetržení (viz obr. 4.4), které se s dobou kondicionace u zkušebních těles neměnily.



Obr. 4.2: Časová závislost meze pevnosti v tahu pro výstřiky



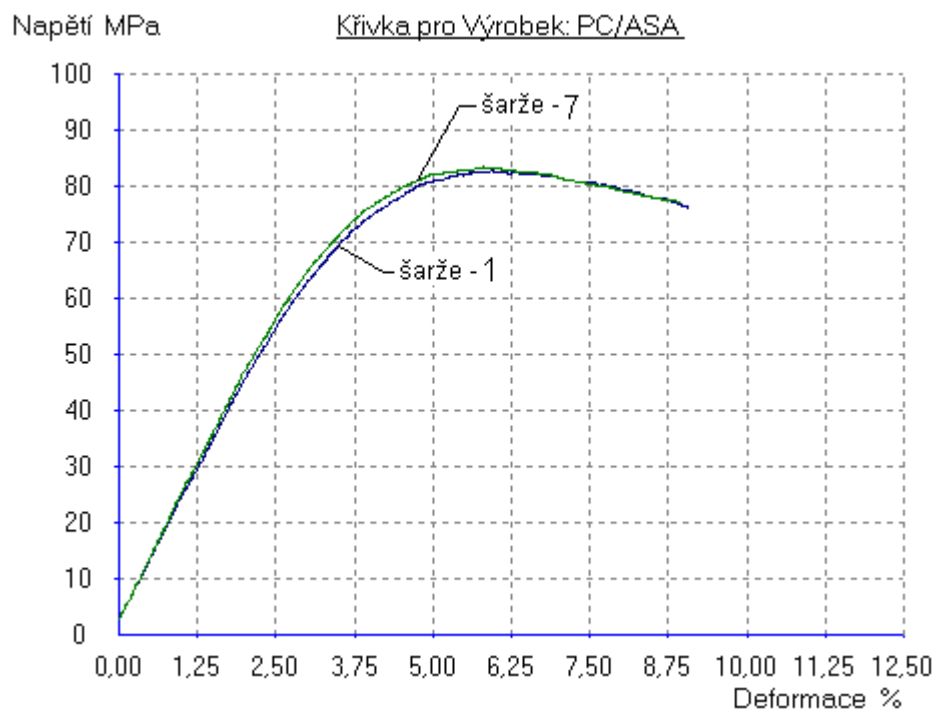
Obr. 4.3: Časová závislost prodloužení na mezi pevnosti v tahu pro výstřiky



Obr. 4.4: Časová závislost napětí ve zlomu v tahu pro výstřiky

## 4.2 OHYBOVÉ VLASTNOSTI

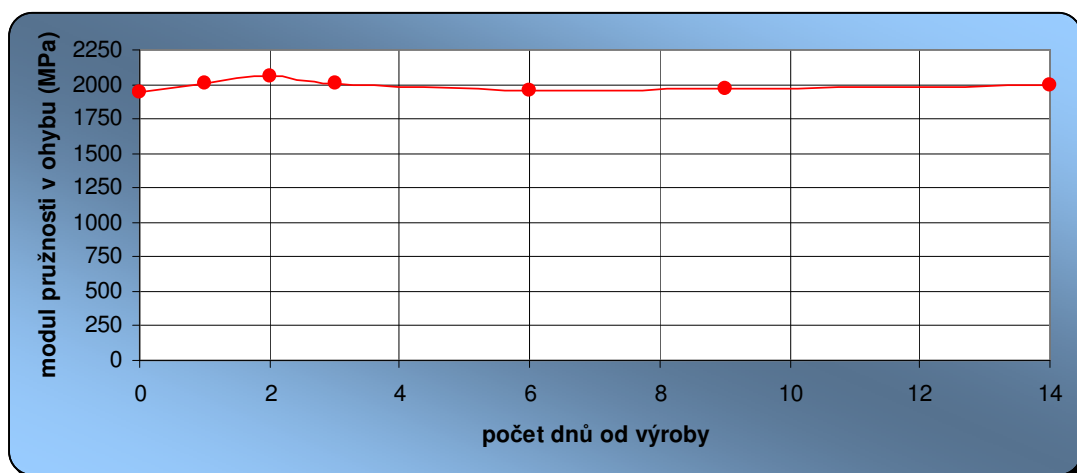
Mechanická zkouška ohybem byla stanovena dle ČSN EN ISO 178. Průběh zkoušky byl také zaznamenáván do grafu závislosti napětí na deformaci (viz obr. 4.5). Na grafu jsou opět znázorněny pouze dvě křivky. Modrá, jakož tomu bylo i u tahové zkoušky patří vzorku z první šarže. To znamená, že měření se provádělo ihned po výrobě a druhá křivka zelené barvy patří vzorku sedmé šarže, tedy čtrnáctého dne po výrobě. Jak je z grafu patrné ani při zkoušce ohybem nevznikaly výrazné odchylky mezi hodnotami ohybových vlastností v závislosti na době kondicionace výstřiků po výrobě (viz obr. 4.6 až obr. 4.8).



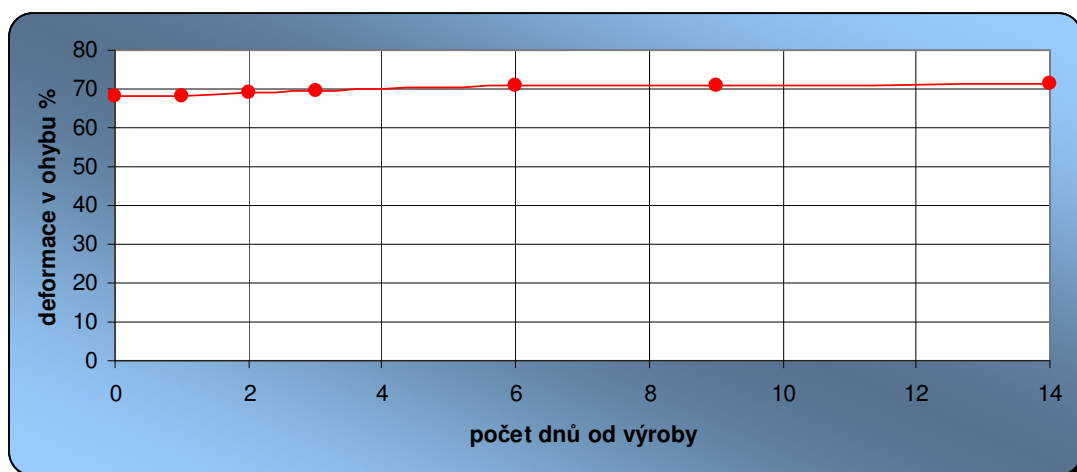
Obr. 4.5: Grafické znázornění ohybové zkoušky pro šarži 1 a 7



Obr. 4.6: Časová závislost meze pevnosti v ohybu pro výstřiky



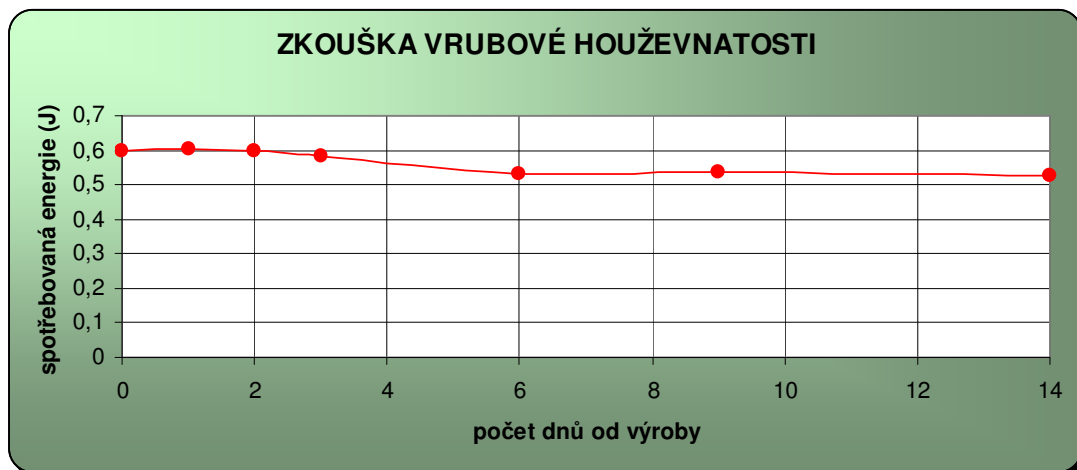
Obr. 4.7: Časová závislost modulu pružnosti v ohybu pro výstřiky



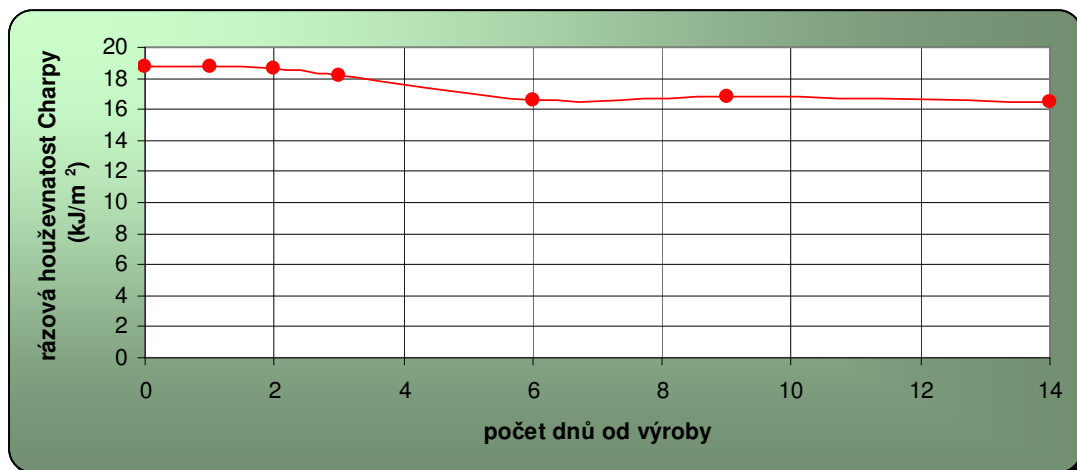
Obr. 4.8: Časová závislost deformace v ohybu pro výstřiky

### 4.3 VRUBOVÁ HOUŽEVNATOST

Na zkušebních tělesech s normalizovaným vrubem typu A dle ČSN EN ISO 179 byla provedena rázová zkouška. Hodnoty vrubové houževnatosti s prodlužující se dobou ponechání materiálu na vzduchu při standardním prostředí vykazují nepatrné klesající hodnoty, které však ale nepřekračují 10%, tj hodnotu kritického rozdílu podmínek opakovatelnosti. Časová závislost spotřebované energie k přeražení zkušebních těles a vrubové houževnatosti je znázorněn na obr. 4.9 a obr. 4.10.



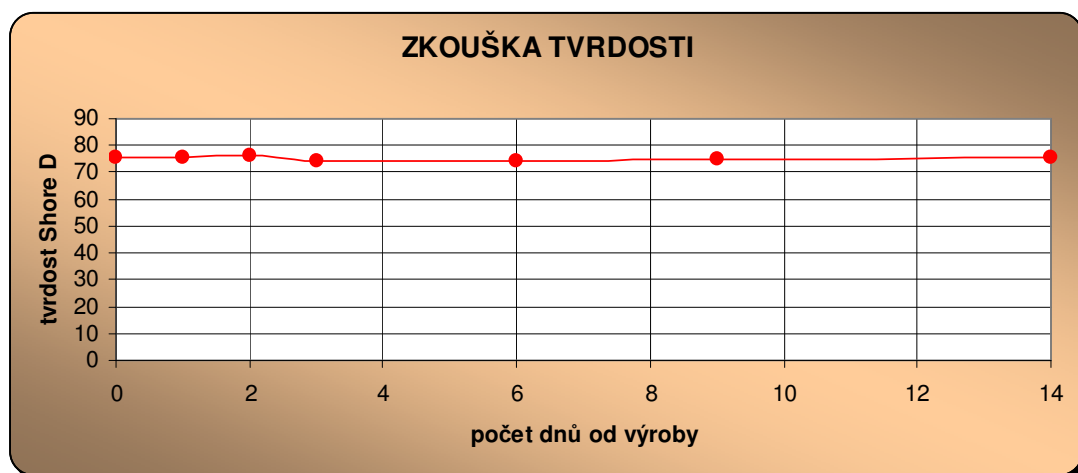
Obr. 4.9: Časová závislost spotřebované energie potřebné k přeražení výstřiku



Obr. 4.10: Časová závislost rázové houževnatosti Charpy

#### 4.4 TVRDOST

Jako poslední zkouškou pro získání a vyhodnocení vlastností změny chování vzorku byla zkouška tvrdosti, která proběhla dle normy ČSN EN ISO 868. Po naměření a následném porovnání naměřených hodnot z jednotlivých dnů bylo patrné, že při zkoušce tvrdosti nebyl znatelný téměř žádný rozdíl mezi měřeními, v průběhu doby kondicionace výstřiků (viz obr. 4.11).



Obr. 4.11: Časová závislost tvrdosti Shore D pro výstřiky



## **5 ZÁVĚR**

Hlavním tématem bakalářské práce byla problematika související s možností navlhavosti materiálu PC/ASA Geloy FXW751SK a jejího důsledku na vybrané mechanické vlastnosti výstřiku, které byly hodnoceny v závislosti na době jejich kondicionace od výroby při standardním prostředí. Z dodaného materiálu ve formě granulátu byly po vysušení vyrobeny normalizované vzorky, vhodné k vlastnímu měření mechanických zkoušek. Připravené zkušební vzorky byly podrobovány mechanickým zkouškách v odlišných časových intervalech v rozmezí jednoho až čtrnácti dnů. Tím bylo možné pozorovat vlastnosti v důsledku případného navlhnutí materiálu.

Z hodnocených tahových, ohybových, rázových vlastností a tvrdosti lze jednoznačně konstatovat, že vliv doby kondicionace ve standardním prostředí nemá na hodnocení vlastností vliv. Jedinou změnou, která se projevovala, byl pokles vrubové houževnatosti s dobou kondicionace, avšak tato změna nepřekročila 10% tj hodnotu kritického rozdílu podmínek opakovatelnosti. Domněnka o možné změně vlastností výstřiku v důsledku vzrůstající navlhavosti, která vycházela ze zadání bakalářské práce se nepotvrdila.



## LITERATURA

- /1/ BĚHÁLEK, L.: *Navlhavost a sušení plastů*, TU v Liberci, výukový text (nepublikováno).
- /2/ KOVAŘÍK, P.: *Vliv vlhkosti granulátu na objemový index toku taveniny*. TU v Liberci, 2007, bakalářská práce.
- /3/ [www.ksp.vslib.cz](http://www.ksp.vslib.cz) (duben 2008)
- /4/ [www.dplast.cz](http://www.dplast.cz) (duben 2008)
- /5/ KREBS, J.: *Teorie zpracování nekovových materiálů*. Liberec: TU v Liberci, 2006.
- /6/ LENFELD, P.: *Technologie II. – 2. část (Zpracování plastů)*. Liberec: TU v Liberci, 2006.
- /7/ PAZDERNÍK, O.: *Sušení*. Praha: výukový text (publikováno na [www.lanxess.com](http://www.lanxess.com))
- /8/ [www.cs.mt.com](http://www.cs.mt.com) (duben 2008)
- /9/ [www.cwbrabender.com](http://www.cwbrabender.com) (duben 2008)
- /10/ [www.hepnar.cz](http://www.hepnar.cz) (duben 2008)
- /11/ [www.lac.cz](http://www.lac.cz) (duben 2008)
- /12/ [www.amcz.cz](http://www.amcz.cz) (duben 2008)
- /13/ [www.romill.cz](http://www.romill.cz) (duben 2008)
- /14/ [www.pmmda.org.uk](http://www.pmmda.org.uk) (duben 2008)
- /15/ [www.kaitrade.cz](http://www.kaitrade.cz) (duben 2008)
- /16/ [www.maneko.cz](http://www.maneko.cz) (duben 2008)
- /17/ ČSN EN ISO 527-1
- /18/ ČSN EN ISO 527-2
- /19/ ČSN EN ISO 178
- /20/ ČSN EN ISO 179
- /21/ ČSN EN ISO 868



## **Prohlášení**

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/200 Sb. o právu autorském, zejména § 60 - školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum: 23.5.2008

Podpis:



## **Declaration**

I have been notified of the fact that Copyright Act. No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec (TUL) is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date: 23.5.2008

Signature: